



Análise e comparação dos modelos matemáticos da secagem do resíduo de manga ‘Tommy Atkins’

Analysis and comparison of mathematical models of the residue dried mango Tommy Atkins

Anastácia Maria Mikaella Campos Nobrega André^{*1}, Deise Souza de Castro¹, Renata Duarte Almeida², Inácia dos Santos Moreira³.

RESUMO – O aproveitamento da casca da manga para a produção de farinha torna-se uma alternativa viável para a redução dos resíduos agroindustriais, sendo necessárias pesquisas sobre a melhor temperatura de secagem deste produto. Objetivou-se neste trabalho, secar cascas de manga *Tommy Atkins* pré tratadas osmoticamente nas concentrações de 45, 55 e 65 °Brix, em secador de ar aquecido nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C. As cascas da manga da variedade *Tommy Atkins* foram imersas em soluções de sacarose de 45, 55 e 65°Brix na proporção de 1:4 (g/g) fruto/xarope por um período de 4 horas a temperatura ambiente média de 28 °C. As cascas desidratadas foram acondicionadas em cestas pré identificadas e levadas para um secador com circulação forçada de ar nas temperaturas 50, 60 e 70°C em três repetições, para descrição da cinética de secagem foram utilizados os modelos de regressão não linear propostos por Henderson & Pabis, Lewis, Midilli e Page. Utilizando - se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton, as curvas de secagem obtidas experimentalmente foram ajustadas por meio do programa computacional Statistica versão 7.0. Os modelos utilizados nestes trabalho mostram-se satisfatórios ao ajuste, apresentando coeficiente de determinação acima de 97,3%, sendo verificado no modelo de Page para a temperatura de secagem de 70°C a concentração de sacarose a 45°Brix, o maior coeficiente de determinação de 99,98%. Conclui-se que as quatro se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, para as concentrações de sacarose de 40, 45 e 50 °Brix

Palavras-chave: Aproveitamento da casca de manga, cinética de secagem, tratamento osmótico.

ABSTRACT - The use of mango peel for the production of flour becomes a viable alternative for the reduction of organic residues, being necessary research about the best temperature for this product. The aim of this work, dry mango peels *Tommy Atkins* osmotically pretreated at concentrations of 45, 55 and 65 ° Brix in heated air dryer at temperatures of 50, 60 and 70 ° C. The shells of the sleeve *Tommy Atkins* variety were immersed in sucrose solutions of 45, 55 and 65 ° Brix in the ratio 1: 4 (g / g) fruit / syrup for a period of 4 hours at an average ambient temperature of 28 ° C . The dried peels were placed in pre identified baskets and taken to a dryer with forced air at temperatures 50, 60 and 70 ° C in three replicates for description of drying kinetics models proposed nonlinear regression were used by Henderson & Pabis, Lewis, and Midilli Page. Using - the analysis of non-linear regression by the Quasi-Newton method, the drying curves obtained experimentally were adjusted by the computer program Statistica version 7.0. The models used in this study show the adjustment is satisfactory, with a coefficient of determination of 97.3% above, and model Page checked at the drying temperature to 70 ° C at concentration of 45 ° Brix sucrose, the higher coefficient determination of 99.98%. We conclude that the four have adjusted well to the experimental data of drying and can be used to predict the drying kinetics at temperatures of 50, 60 and 70 ° C, for sucrose concentrations of 40, 45 e and 50 °Brix.

Keywords: Utilization of mangos, drying kinetics, osmotic treatment.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 20/08/2013; Aprovado em 10/12/2014

¹ Mestrandas do Departamento de Engenharia Agrícola, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, UAEEg/CTRN/UFMG – Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: anastaciamikaella@gmail.com; deise_castro01@hotmail.com;

² Doutoranda do Departamento de Engenharia de Processos, UF/CCT/UFMG – Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: renatinhadual@hotmail.com

³ Doutoranda do Departamento de Engenharia Agrícola, Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, UAEEg/CTRN/UFMG – Campina Grande – PB, Brasil. E-mail: inaciamoreira@ymail.com

INTRODUÇÃO

Dentre as cultivares comerciais de manga no Brasil a variedade *Tommy Atkins*, resultante de extensas pesquisas de seleção e melhoramento genético, classifica a variedade como a preferida dos agricultores brasileiros respondendo por cerca de 80% da área cultivada no Brasil (ALMEIDA et al., 2001).

A indústria destina a produção de frutos para o consumo *in natura* e/ou processada, na forma de compotas, geléias, sorvetes, néctares, polpas congeladas e sucos concentrados (DAMIANI et al., 2011). De acordo com Lemos et al., (2013) nas indústrias de processamento há o descarte de resíduos, os quais possuem valor nutritivo devendo ser aproveitados de forma distinta na dieta humana.

Aproximadamente 40 a 60% de resíduos são gerados durante o processamento de mangas, 12 a 15% se constituem de cascas e 15 a 20%, de caroços (endocarpos) (KAUR et al., 2004). Pesquisas realizadas apontam em alguns casos a riqueza de nutrientes presentes nos resíduos. A casca da manga é rica em cálcio, sódio, potássio, ferro, fósforo, magnésio e manganês, a mesma possui mais fibras, vitamina C, proteínas, carboidratos e pectina que a polpa (FELIPE et al., 2006; DAMIANI et al., 2009; MARQUES et al., 2010; COELHO e AZEVEDO, 2012).

O aproveitamento residual da manga vem sendo estudado por alguns pesquisadores. Azevedo et al. (2008) estudaram a transformação das cascas da manga em farinha, afirmando que o processo é viabilizador e propulsor, devido à praticidade de uso, redução da perecibilidade e do volume a ser transportado. André et al., (2014) estudaram a secagem de cascas de manga espada pré tratadas osmoticamente, secas em secador de ar aquecido.

A produção de farinha de resíduo de manga, mostra-se como uma boa alternativa para redução do lixo orgânico gerado na industrialização deste produto. O estudo das formas de secagem para obtenção desta farinha é necessário para verificar o comportamento sob condições controladas de temperatura.

Objetivou-se neste trabalho, secar cascas de manga *Tommy Atkins* pré tratadas osmoticamente nas concentrações de 40, 45 e 50 °Brix, em secador de ar aquecido nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C.

MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Engenharia de Alimentos (LEA) pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Campina Grande, PB.

Os resíduos utilizados neste estudo foram as cascas de manga *Tommy Atkins* resultante de um projeto de pesquisa com a polpa deste fruto, realizado no LEA. As cascas previamente lavadas e sanitizadas pertenciam a frutos de um

mesmo estágio de maturação, livres de danos físicos e defeitos fisiológicos.

Os xaropes de sacarose foram preparados a partir da dissolução total do açúcar em água destilada até atingir a quantidade de sólidos solúveis de 40, 45 e 50 °Brix. As cascas de manga foram cortadas em fatias de 3 x 2 cm, e imersas nas soluções na proporção de 1:4 (g/g) fruto/xarope por um período de 4 horas a temperatura ambiente média de 28 °C.

O teor de água inicial das cascas desidratadas nas diferentes soluções foi determinado, segundo método padrão de estufa a 105 ± 3 °C, utilizando três repetições da amostra, cada uma com aproximadamente 10 g, que permaneceram em estufa por 24 h (BRASIL, 2008). Após serem retiradas da estufa, as amostras foram resfriadas em dessecador por 15 min, e pesadas em balança analítica; O teor de água inicial foi determinado pela fórmula:

$$X = \frac{m_{H_2O}}{m_s} \quad (1)$$

em que:

X - Teor de água;

m_{H_2O} - massa de água;

m_s - massa seca.

As amostras desidratadas foram acondicionadas em cestas pré-identificadas, cada cesta contendo aproximadamente 100 g de amostra, que foram uniformemente espalhadas com auxílio de espátula de aço inoxidável, obtendo-se uma camada aproximada de 1,0 cm de espessura. O equipamento utilizado para a determinação da cinética de secagem foi um secador com circulação forçada de ar nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, e velocidade do ar de secagem de 2,5m/s.

As curvas foram determinadas com três níveis de temperatura (50, 60, e 70 °C) em três repetições. A umidade relativa média do ar ambiente foi de 52%. As leituras em relação à perda de peso da amostra foram realizadas em intervalos regulares, iniciando-se a cada 5 min, acompanhada até atingir peso constante. Os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade (X^*):

$$X^* = \frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

Em que:

X - teor de água, base seca, bs;

X_e - teor de água de equilíbrio, bs;

X_0 - teor de água inicial, bs.

Para descrição da cinética de secagem foram utilizados os modelos de regressão não linear propostos por Henderson & Pabis, Lewis, Midilli e Page as quais são apresentadas na Tabela 01.

Tabela 01: Modelos de regressão não linear utilizados para descrição da cinética de secagem.

Modelo	Equação
Henderson & Pabis	$RU = a \cdot \exp(-k \cdot t)$
Lewis	$RX = \exp(-k \cdot t)$
Midilli	$RX = a \cdot \exp(-k \cdot t^n) + (b \cdot t)$
Page	$RU = \exp(-k \cdot t^n)$

t - tempo de secagem (min); k, - constantes de secagem; a, c, n - coeficientes dos modelos.

Os modelos de regressão não linear de Henderson & Pabis, Lewis, Midilli e Page (2002), foram ajustados aos dados experimentais da secagem das cascas de manga pré desidratadas osmoticamente. As curvas de secagem obtidas experimentalmente foram ajustadas por meio do programa computacional Statistica versão 5.0® utilizando-se a análise de regressão não-linear, pelo método Quasi-Newton.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados experimentais da secagem dos resíduos da manga *Tommy Atkins* foram ajustados aos modelos matemáticos propostos na tabela 01. Os resultados dos parâmetros de ajuste aos dados experimentais estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02- Parâmetros dos modelos matemáticos Page, Midilli, Henderson & Pabis e Lewis (2002), coeficiente de determinação (R^2) e desvio quadrático médio (DQM) na secagem a 50, 60 e 70° C para resíduos da manga *Tommy Atkins* desidratadas a uma solução de sacarose de 45, 55 e 65°Brix.

Modelo	°Brix	Temp. (°C)	Parâmetros				R^2	DQM	
			a	b	K	n			
Page	40	50	-	-	0,0009	1,2041	99,457	0,0247	
		60	-	-	0,0033	1,0302	99,636	0,0201	
		70	-	-	0,0052	1,0282	99,984	0,0043	
	45	50	-	-	0,0016	1,1343	99,582	0,0219	
		60	-	-	0,0062	0,9596	99,762	0,0162	
		70	-	-	0,0179	0,8675	99,838	0,0127	
	50	50	-	-	0,0107	0,8399	98,186	0,0413	
		60	-	-	0,0061	0,9210	99,662	0,0184	
		70	-	-	0,0179	0,8675	99,838	0,0127	
	Midilli	40	50	1,0043	-0,000278	0,0030	0,9448	99,928	0,0090
			60	0,9912	-0,000096	0,0047	0,9500	99,868	0,0121
			70	1,0016	-0,000004	0,0054	1,0211	99,983	0,0042
45		50	0,9944	-0,000147	0,0028	1,0030	99,944	0,0080	
		60	0,9851	-0,000053	0,0068	0,9297	99,908	0,0101	
		70	0,9768	-0,000001	0,0149	0,8996	99,868	0,0115	
50		50	0,9668	-0,000255	0,0189	0,6811	99,588	0,0197	
		60	1,0002	-0,000098	0,0090	0,8329	99,836	0,0128	
		70	0,9769	-0,000001	0,0150	0,8995	99,868	0,0115	
Henderson & Pabis		40	50	1,0302	-	0,0032	-	98,712	0,0381
			60	0,9948	-	0,0040	-	99,615	0,0207
			70	1,0081	-	0,0061	-	99,976	0,0052
	45	50	1,0185	-	0,0036	-	99,206	0,0302	
		60	0,9751	-	0,0048	-	99,823	0,0140	
		70	0,9469	-	0,0089	-	99,768	0,0152	
	50	50	0,9132	-	0,0039	-	98,917	0,0319	
		60	0,9689	-	0,0038	-	99,656	0,0167	
		70	0,9469	-	0,0089	-	99,768	0,0152	
	Lewis	40	50	-	-	0,0030	-	98,516	0,0409
			60	-	-	0,0040	-	99,610	0,0208
			70	-	-	0,0060	-	99,968	0,0060
45		50	-	-	0,0035	-	99,138	0,0315	
		60	-	-	0,0050	-	99,719	0,0176	
		70	-	-	0,0096	-	99,443	0,0236	
50		50	-	-	0,0044	-	97,269	0,0507	
		60	-	-	0,0040	-	99,455	0,0234	
		70	-	-	0,0096	-	99,443	0,0236	

Na Tabela 01 encontram-se as equações de Page, Midilli, Henderson & Pabis e Lewis (2002), mostram-se equivalentes quanto ao ajuste, visto que apresentaram valores elevados para o coeficiente de determinação, acima de 97,3%, considerando o maior coeficiente de determinação de 99,98% para o modelo de Page a temperatura de secagem de 70°C a concentração de sacarose a 45°Brix. O desvio quadrático médio (DQM) apresentou-se valores superiores a 0,0507 e inferiores a 0,0042, os modelos matemáticos que apresentaram menor valor de DQM foi o de Page e o de Midilli para secagem de 70°C e concentração de sacarose de

45°Brix. Alexandre et al., (2013) estudando a cinética de secagem da casca de abacaxi perla enriquecido, também observou que o modelo de Page obteve maiores valores de R^2 e os menores valores de DQM.

Verifica-se ainda, um fato importante a ser observado nos resultados dos parâmetros das equações estudadas, é o aumento da constante de secagem K em função do aumento da temperatura de secagem nas concentrações de sacarose de 40 e 45 °Brix, o mesmo comportamento não ocorreu na concentração de sacarose a 50 °Brix. Melo (2008), ao estudar a secagem da polpa do fruto do mandacaru,

verificou para o modelo de Page que o parâmetro K aumentou com o aumento da temperatura, mesmo resultado reportado por Madureira et al., (2012), estudando a secagem de polpa de figo-da-índia.

Apresentam-se na Figura 01, as curvas de cinética de secagem por convecção, a 50, 60 e 70°C, para resíduos da

manga *tommy* desidratadas por imersão a uma solução de sacarose de 40, 45 e 50°Brix, a temperatura ambiente 25°C ajustados de acordo com o melhor modelo matemático estudado, Page.

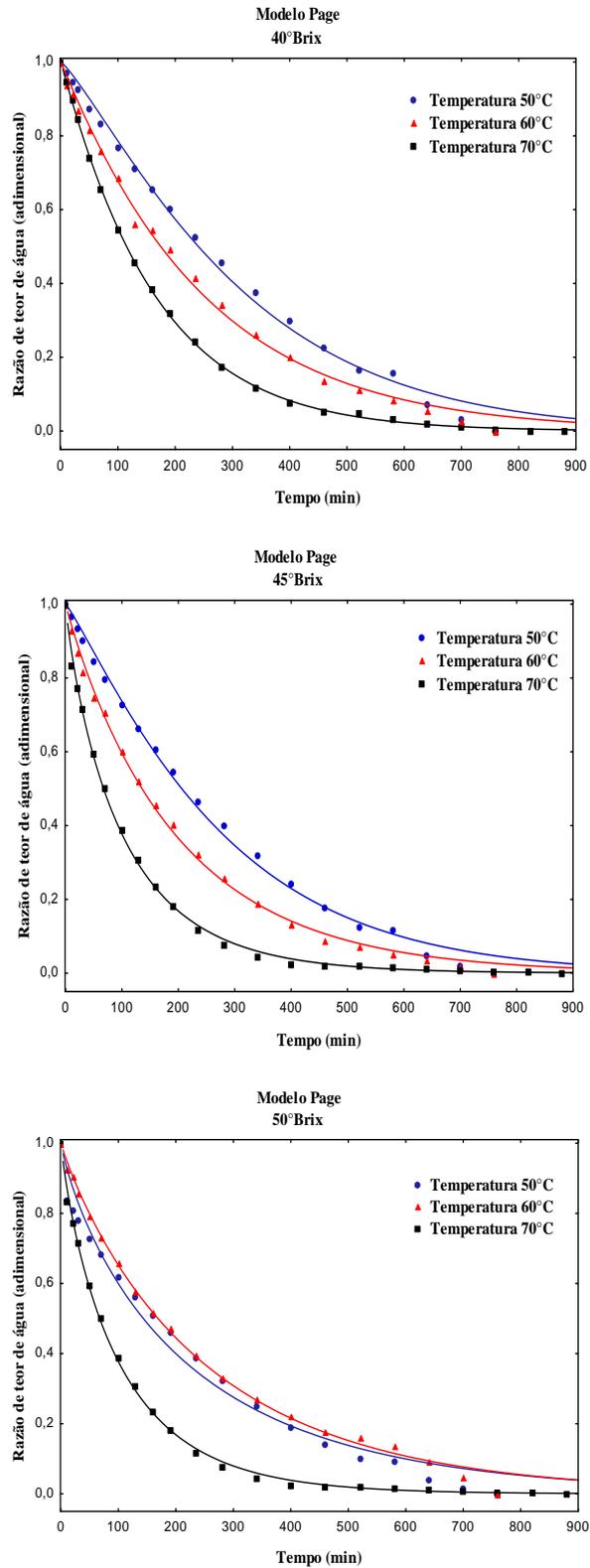


Figura 01- Curvas de cinética de secagem para resíduos da manga *tommy* desidratadas, para o modelo matemáticos de Page.

Verifica-se na Figura 01 que os tratamentos desidratados osmoticamente na temperatura ambiente na concentração de sacarose a 40, 45, 50 °Brix, submetidos ao processo de secagem a 70°C apresentaram o maior tempo de 880 minutos, o que pode ser justificado pela caramelização da sacarose na superfície da amostra, formando uma barreira impedindo a passagem da água.

Na Figura 02 apresenta-se o gráfico de resíduos para o melhor modelo matemático estudado, Page. De acordo com as curvas de cinética de secagem por convecção, a 50, 60 e 70°C, para resíduos da manga *tommy* desidratadas por imersão a uma solução de sacarose de 40, 45 e 50°Brix.

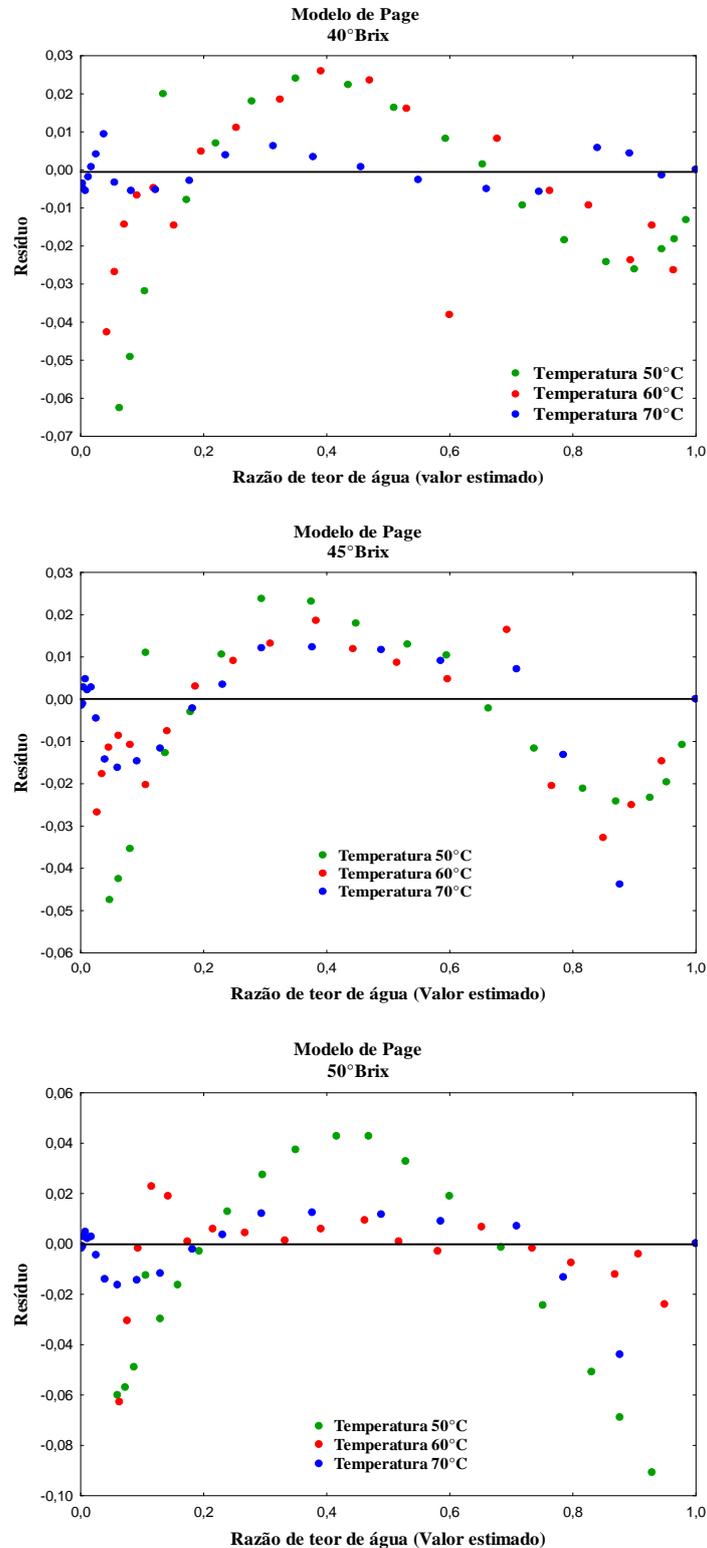


Figura 02- Gráfico dos valores residuais versus valor estimado para as concentrações de 45, 55 e 65°Brix nas temperaturas de secagem de 50, 60 e 70°C, ajustadas ao modelo de Page.

Os resíduos obtidos para o modelo de Page conseguiu suavizar a tendência do modelo. Os valores residuais variaram entre valores máximos e mínimos, na concentração de sacarose a 45°Brix submetida a temperatura de secagem de 60°C apresentou valor máximo aos dados residuais (0,026) e o valor mínimo de (-0,090) na concentração de sacarose a 50°Brix submetida a temperatura de secagem de 50°C. Fiorentin et al., (2009), estudaram secagem do resíduo da laranja e verificaram que os dados residuais obtidos através do modelo de Page tiveram desvios máximos de 0,02 e mínimos de - 0,015, o contrário do encontrado para a amostra desidratada do resíduo de manga *tommy*, não ocorreu uma distribuição não uniforme dos resíduos.

CONCLUSÕES

As equações Page, Midilli, Henderson & Pabis e de Lewis (2002), se ajustaram bem aos dados experimentais das secagens, podendo ser utilizados na predição das cinéticas de secagem, nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, para as concentrações de sacarose de 45, 55 e 65°Brix 40, 45 e 50°Brix a temperatura ambiente (25°C).

Percebe-se que todos os coeficientes de determinação (R^2), obtidos com o ajuste da Equação de Page, representando um ajuste satisfatório, porém pela análise dos resíduos todos apresentaram comportamento tendencioso.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ALEXANDRE, H. V.; SILVA, F. L. H.; GOMES, J. P.; SILVA, O. S.; CARVALHO, J. P. D.; LIMA, E. E. Cinética de secagem do resíduo de abacaxi enriquecido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.6, p.640–646, 2013.
- ALMEIDA, K. E. DE; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. DE O. Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, p.187-192, 2001.
- ANDRÉ, A. M. M. C. N.; CASTRO, D. S.; ALMEIDA, R. D.; OLIVEIRA, V. F. MOREIRA, I. S. Comparação de Modelos Matemáticos da Cinética de Secagem de cascas de Manga Espada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 19-28, 2014.
- AZEVEDO, L.C.DE; AZOUBEL, P.M.L; SILVA,I.R.A; ARAUJO, A.J. de B.; OLIVEIRA, S.B. Caracterização físico-química da farinha da casca de manga cv. *tommy atkins*. **Anais do XXI CBCTA**, 2008.
- COELHO, E. M.; AZEVEDO, L. C. Comparação entre técnicas de secagem para obtenção de farinha a partir da casca de manga cv. *Tommy Atkins*. **In: VII Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação – CONNEPI**, Palmas-To, 2012.
- DAMIANI, C.; ALMEIDA, A. C. S.; FERREIRA, J.; ASQUIERI, E. R.; BOAS, E. V. B. V.; SILVA, F. A. Doces de corte formulados com casca de manga. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 360-369, 2011.
- DAMIANI, C.; VILAS BOAS, E. V.; SOARES JUNIOR, M.; CALIARI, M.; PAULA, M. L.; ASQUIRI, E. R. Avaliação química de geléias de manga formuladas com diferentes níveis de cascas em substituição à polpa. **Revista Ciências. agrotecnica.**, v. 33, n. 1, p. 177-184, 2009.
- FELIPE, E. M. F.; COSTA, J. M. C.; MAIA, G. A.; HERNANDEZ, F. F. H. Avaliação da qualidade de parâmetros minerais de pós-alimentícios obtidos de casca de manga e maracujá. **Alimentos e nutrição**, v. 17, n. 1, p. 79-83, 2006.
- FIORENTIN, L. D.; MENON B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; MODENES, A. N. Análise da secagem do bagaço de laranja em camada fina utilizando modelos semi-teóricos e empíricos. **ENGEVISTA**, v. 14, n. 1. p. 22-33, abril 2012.
- KAUR, M.; SINGH, N.; SANDHU, K. S.; GURAYA, H. S. Physicochemical, morphological, thermal, and rheological properties of starches separated from kernels of some Indian mango cultivars (*Mangifera indica* L.). **Food Chemistry**, v.85, p.131-140, 2004.
- LEMO, D. M.; SILVA, S. F; LIMA, J. C. B.; SILVA, F. B.; SOUSA, E. P. Parâmetros químicos, físicos e físico-químicos de resíduos da manga. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 2, p. 01-03, 2013.
- MADUREIRA, I. A.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SILVA FILHO, E. D. Cinética de secagem da polpa do figo-da-índia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n. Especial, p.525-534, 2012.
- MARQUES, A; CHICAYBAM, G.; ARAUJO, M. T. MANHÃES, L. R. T.; SABAA-SRUR, A. U. O. Composição centesimal e de minerais de casca e polpa de manga (*Mangifera indica* L.) cv. *Tommy atkins*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1206-1210, Dezembro 2010.
- MELO, K. S. **Secagem da polpa do mandacaru**. 2008. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- MIDILLI, A.; KUCUK, H.; YAPAR, Z. A. New model for single-layer drying. **Drying Technology**, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002.